

МОРФОГЕНЕЗ БАЗ ПРАВИЛ СИСТЕМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА В УСЛОВИЯХ КОНТРАДИКТОРНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ МНЕНИЙ

А. А. Сорокин

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация*

Цель работы: предложение метода морфогенеза базы правил системы нечеткого вывода в условиях противоречивых экспертных мнений. Одной из сложностей морфогенеза базы правил, отображающей результат коллективного мнения экспертной группы, является обработка противоречивых заключений, которые выражаются в виде несовместимых правил. Методы, используемые для формирования баз правил систем нечеткого вывода в случае возникновения противоречивых мнений экспертов, основаны на удалении несовместимых правил, в зависимости от величины их коэффициента доверия. При этом методы идентификации значений коэффициентов доверия описаны недостаточно, кроме этого, удаление правил приводит к потере информации об объекте, которую сформировала экспертная группа. Предложенный метод морфогенеза баз правил в условиях противоречивых мнений экспертов по результатам взаимодействия входных переменных основан на идентификации коэффициента доверия каждого из правил, в зависимости от количества и уровня квалификации экспертов, которые его предложили. Для оценки эффективности предложенного метода проведен численный эксперимент, основанный на исследовании типовой модели оценки состояния объекта, использующийся в других примерах, которые демонстрируют принципы работы системы нечеткого вывода. Для сравнения эффективности использовались методы обработки экспертной информации, содержащие несовместимые правила. Критерием эффективности выступал показатель разнообразия выходных значений системы нечеткого вывода при условии сохранения общей закономерности зависимости выходного значения от значений входных параметров. В результате эксперимента показано, что система нечеткого вывода, использующая в качестве основы базу правил, которая сформирована с использованием предложенного метода, обладает заметно большим разнообразием входных значений при сохранении закономерности изменения значений выходной переменной. Результаты исследования позволяют развивать методы идентификации состояния элементов социально-экономических и организационно-технических систем, в которых наблюдается терминологическая неопределенность в описании критических параметров и неполнота знаний экспертов по проблемной области.

Ключевые слова: морфогенез, база правил, система нечеткого вывода, противоречивые мнения, продукционное правило, несовместимое правило, коэффициент доверия.

Для цитирования: *Сорокин А. А.* Морфогенез баз правил систем нечеткого вывода в условиях противоречивых экспертных мнений // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 4. С. 95–105. DOI: 10.24143/2072-9502-2019-4-95-105.

Введение

В настоящее время системы нечеткого вывода (СНВ) используются в различных прикладных областях, в том числе для создания контроллеров технологических процессов [1–3], разработки систем поддержки принятия решений [4, 5], задач прогнозирования временных рядов [1, 3], классификации объектов [6] и т. д. Реализация СНВ возможна как в виде самостоятельных программ, так и в специальных математических пакетах, таких как MATLAB (в модуле FuzzyLogicToolbox) или FuzzyTech [1, 3]. База правил (БП) является одним из ключевых элементов СНВ. В БП входят правила, которые описывают закономерности влияния значений входных переменных на итоговый результат. Формирование правил, с учетом работ [1–3], осуществляется либо группой специалистов проблемной области знаний (экспертов), либо на основании значений обучающих выборок. Как правило, формирование правил при помощи обучающих выборок производится для СНВ, ориентированных на использование в микроконтроллерах. Дальнейшим развитием подобных СНВ стали нечеткие нейронные сети, к ограничениям которых

можно отнести требования к достаточно большому объему обучающих выборок, представленных в четком, структурированном виде. Во время решения многих задач в области оценки и идентификации состояния сложного объекта часто отсутствуют первичные данные в четкой структурированной форме, что вызывает необходимость привлечения эксперта для формирования заключений (правил) о результате взаимодействия входных переменных в зависимости от их значений.

Как показывает практика, во многих предметных областях, связанных с управлением в социально-экономических и организационно-технических системах, существует ряд неопределенностей, связанных с нечеткостью понятий, неполнотой информации о значениях и уровне влияния оцениваемых параметров на итоговый результат, следствием подобного является определенная противоречивость (рассогласованность) экспертных мнений во время оценивания результата взаимного влияния входных переменных. В результате эксперты формируют несовместимые правила, которые при одинаковых значениях входных переменных показывают различный выходной результат. Противоречивость экспертных мнений приводит к ряду сложностей во время морфогенеза (др. греч. *μορφή* – форма, *γένεσις* – возникновение, формообразование) итоговой базы знаний, которая должна обобщить взгляд экспертной группы на итоговый результат оценки. В работе [2] предлагаются различные методы борьбы с несовместимыми правилами, однако подобное может приводить к потере части экспертных знаний об исследуемом объекте.

Таким образом, целью работы стало предложение метода морфогенеза базы правил системы нечеткого вывода в условиях противоречивых экспертных мнений.

Анализ процесса функционирования систем нечеткого вывода

Одним из базовых понятий для СНВ является нечеткая переменная x_{fuzz} , которая описывается набором термов $T = \{\tau_{j,x_{fuzz}}\}$, где j – номер соответствующего термина в терм-множестве T .

Для описания области определения переменной x_{fuzz} используется шкала sc_x^{in} , на которой откладываются значения переменной x в четкой форме в виде абсолютных или относительных (балльных) единиц, и шкала sc_x^{out} , которая показывает степень принадлежности четкого значения переменной к определенному терму. Диапазон значений шкалы sc_x^{in} задается экспертом в зависимости от вида переменной. Диапазон значений шкалы sc_x^{out} находится в пределах от 0 до 1. Для преобразования четкого значения переменной используется функция принадлежности (ФП) μ_x^τ :

$$x_{fuzz} = \mu_x^\tau(x). \quad (1)$$

Вид ФП определяется экспертом, часто в качестве ФП используются треугольные, гауссовские, сигмоидальные и др. виды функций. В рамках настоящей работы, с учетом исследований [7], используются двусторонние гауссовские ФП. Таким образом, нечеткую переменную можно описать в виде кортежа:

$$x_{fuzz} = \langle T = \{\tau_{j,x_{fuzz}}\}, sc_x^{in}, sc_x^{out} : \forall \tau_{j,x_{fuzz}} \exists \mu_x^\tau \rangle. \quad (2)$$

Для описания результата взаимодействия входных переменных экспертами формируются продукционные правила (ПП) вида

$$\begin{aligned} \kappa \text{ if } (x_{fuzz.1} = \tau_{1,x_1}) \wedge \dots \wedge (x_{fuzz.m} = \tau_{j_m,x_m}) \Rightarrow \\ \Rightarrow (y_{fuzz} = \tau_{z,y}), \lambda_\kappa : \lambda_\kappa \in (0, 1], \end{aligned} \quad (3)$$

где κ – номер соответствующего ПП; m – номер входной переменной; y_{fuzz} – выходная переменная; z – номер термина в терм-множестве выходной переменной; λ_κ – коэффициент доверия (КД) ПП. В рамках работы описываются ПП структуры MISO (англ. *multipleinput, singleoutput* – много входов, один выход), рассуждения для ПП структуры MIMO (англ. *multipleinput, multipleoutput* – много входов, много выходов) аналогичны. Продукционные правила (3) объединяются в БП:

$$RB = \bigcup_{\kappa=1}^{\kappa_{\max}} \left[\bigcap_{m=1}^{m_{\max}} (x_{fuzz.m} = \tau_{j_m,x_m}) \Rightarrow (y_{fuzz} = \tau_{z,y}), \lambda_\kappa \right], \quad (4)$$

где κ_{\max} – общее число правил в БП; m_{\max} – общее число входных переменных. Совокупность нечетких переменных и БП образуют базу знаний (БЗ) об объекте исследования.

В рамках проводимых исследований в качестве базового алгоритма обработки информации, заложенного в СНВ, используется алгоритм Мамдани (Mamdani). Выполнение алгоритма включает следующую последовательность операций [1, 8, 9]:

- преобразование входной переменной из четкой формы в нечеткую при помощи ФП, что описывается соотношением, аналогичным (1);
- агрегация нечетких значений входных переменных при помощи соотношения

$$\varphi_{fuzz.k} = \min(x_{fuzz.1}, \dots, x_{fuzz.m.max}); \quad (5)$$

- активация ПП с учетом значений $\varphi_{fuzz.k}$, КД λ_k , максимального значения ФП $\mu_{y.max.k}^{\tau}$ терма $\tau_{z,y}$, описывающего выходное значение y_{fuzz} в обрабатываемом ПП:

$$y_{fuzz.k} = \min(\mu_{y.max.k}^{\tau}, \lambda_k \cdot \varphi_{fuzz.k}), \quad (6)$$

при этом $y_{fuzz.k}$ часто представляет собой усеченную ФП соответствующего терма выходной переменной в ПП k ;

- объединение (аккумуляция) $y_{fuzz.k}$ всех активированных ПП, в результате формируется общая ФП $y_{fuzz.all}$:

$$y_{fuzz.all} = y_{fuzz.1} \cup \dots \cup y_{fuzz.k.max}; \quad (7)$$

- преобразование нечеткого значения $y_{fuzz.all}$ в четкую численную форму y_{out} (дефаззификация):

$$y_{out} = f_{def}(y_{fuzz.all}). \quad (8)$$

Применительно к алгоритму Мамдани для выполнения (8) используется метод определения координаты центра тяжести итоговой ФП, полученной при помощи (7), на ось вещественных значений переменной y . Таким образом, обобщая (2)–(8), оператор обработки информации при помощи алгоритма Мамдани можно записать в виде

$$y_{out} = f_{def} \left(\bigcup_{k=1}^{k_{max}} \left[\bigcap_{m=1}^{m_{max}} (x_{fuzz.m} = \tau_{j_m, x_m}) \Rightarrow (y_{fuzz} = \tau_{z,y}), \lambda_k \right] \right).$$

Если БП формирует группа экспертов, высока вероятность противоречивости их мнений по определению значения терма выходной переменной в зависимости от комбинации термов входных переменных. В результате этого появляются несовместимые ПП, т. е. правила, у которых при одинаковом antecedенте предлагаются разные консеквенты, подобное можно показать в виде

$$\begin{aligned} \kappa_1 \quad \text{if} \quad (x_{fuzz.1} = \tau_{1,x_1}) \wedge (x_{fuzz.2} = \tau_{2,x_2}) &\Rightarrow (y_{fuzz} = \tau_{1,y}); \\ \kappa_2 \quad \text{if} \quad (x_{fuzz.1} = \tau_{1,x_1}) \wedge (x_{fuzz.2} = \tau_{2,x_2}) &\Rightarrow (y_{fuzz} = \tau_{2,y}); \end{aligned}$$

где $\tau_{1,y}$, $\tau_{2,y}$ – термы, которые показывают разные выходные значения.

В работе [2] приводятся два основных метода формирования БП при наличии несовместимых ПП. Методы основаны на использовании КД правил. Сущность методов практически одинакова и заключается в следующем. В процессе формирования каждому правилу присваивается определенное значение КД $\lambda_k \in (0,1]$, как это показано в (3). После формирования предварительной БП, содержащей несовместимые ПП, выделяются группы несовместимых ПП с одинаковыми предпосылками. Затем выделяется ПП, у которого значение КД максимально, это правило направляется в БП, которая затем используется в СНВ. Остальные ПП из группы, у которых КД меньше максимального, удаляются. Отличие методов заключается в том, что в одном случае значение КД не изменяется и остается таким, каким было до операции выделения, для краткости записи этот метод далее называется «метод 1». В другом случае после попадания в БП, которая используется СНВ, КД выбранного правила приравнивается к 1, для краткости записи этот метод далее называется «метод 2». Как показали численные эксперименты, ограничения методов следующие:

- возникает неопределенность в выборе ПП, имеющих одинаковые КД внутри группы;

– при удалении ПП с меньшим КД происходит потеря информации об объекте, которую предложили эксперты, не согласные с мнением большинства, особенно когда разница в значениях КД невелика (находится в пределах 20 %); подобное особенно важно, когда происходит оценка состояния объекта, результатом становится снижение разнообразия выходных значений СНВ к изменению значений входных переменных;

– возникают трудности в исследовании трансформации мнения экспертной группы о состоянии объекта в течение длительного интервала времени, в зависимости от изменения познаний экспертов о самом объекте и внешней среде, в которой объект находится.

Для устранения выявленных ограничений предлагается метод морфогенеза БП СНВ в условиях противоречивых экспертных мнений.

Предлагаемый метод состоит из следующей последовательности операций:

– создается экспертная группа, в состав которой входит некоторое количество специалистов, за каждым специалистом закрепляется определенный номер n_{ex} ;

– если специалисты имеют одинаковый уровень квалификации, они получают по одному голосу v , если уровень квалификации разный, то количество голосов распределяется пропорционально квалификации определенного эксперта (в дальнейших рассуждениях, если не оговорено иначе, принимается, что за каждым экспертом группы закреплен 1 голос); таким образом, общее количество голосов в экспертной группе составит

$$V_{ex.gr} = \sum_{n_{ex}=1}^{n_{ex,max}} v_{n_{ex}}; \quad (9)$$

– для каждого специалиста формируется опросный лист, в котором предложены предпосылки ПП и возможные варианты заключений;

– из заданного набора заключений эксперт должен выбрать по одному заключению (которое считает наиболее правдоподобным) для каждого из ПП и указать его в опросном листе; формировать несовместимые ПП внутри опросного листа экспертам запрещено;

– после заполнения опросные листы сдаются специалистам по обработке информации, которые формируют общую предварительную базу правил (ОПБП), в составе которой допускается наличие несовместимых ПП, при этом для каждого ПП рассчитывается КД:

$$\lambda_k = \frac{\sum_{n_{ex}^+=1}^{n_{ex}^+,max} v_{n_{ex}}^{rule}}{V_{ex.gr}}, \quad (10)$$

где $n_{ex}^+, \dots, n_{ex}^+,max$ – номера экспертов, сформировавших определенное правило. Результат суммирования всех КД одной группы несовместимых ПП должен равняться единице. В случае если КД, по мнению специалиста по обработке информации, имеет малое значение (в рамках работы под «малым значением» понимается величина, меньшая значения 0,1), он может исключить заданное ПП для снижения количества операций, выполняемых СНВ в процессе обработки информации. Таким образом, БП приобретает вид, аналогичный (4), при условии, что внутри нее находятся несовместимые правила, КД которых получены при помощи соотношения (10):

$$RB^+ = \bigcup_{k=1}^{k_{max}} \left[\bigcap_{m=1}^{m_{max}} (x_{fuzz,m} = \tau_{j_m,x_m}) \Rightarrow (y_{fuzz} = \tau_{z,y}), \lambda_k : \lambda_k \in [\lambda_{k,min}, 1] \right],$$

где $\lambda_{k,min}$ – минимально допустимое значение КД.

В число ограничений на предложенный метод формирования БП накладываются условия численной и лингвистической полноты, а также ее прозрачности, аналогично тому, как это используется для других БП, используемых в СНВ.

Моделирование и анализ результатов применения сформированного метода

Для проверки работоспособности предложенных положений и анализа их эффективности относительно методов формирования БП в случае противоречивых экспертных мнений с учетом [1, 3] взят за основу один из классических примеров, демонстрирующий работу СНВ. Рассматриваемая

СНВ предназначена для определения оценки величины чаевых – y_{TS} (англ. *tip size*) – официанту в зависимости от значения оценки качества блюда – x_{FQ} (англ. *food quality*) – и оценки качества обслуживания – x_{SQ} (англ. *service quality*). Диапазон значений входных переменных находится в пределах от 0 до 100 баллов, диапазон значения выходной переменной находится в пределах от 0 до 20 % от стоимости заказа. Для описания переменных в нечеткой форме используется следующий набор термов:

$$T = \langle NB, NM, Z, PM, PB \rangle,$$

где NB означает «очень низкое», NM – «скорее низкое», Z – «среднее», PM – «высокое», PB – «очень высокое» значение соответствующей переменной. Для описания термов используются двусторонняя гауссовская ФП, которая для входных и выходной переменной представлена на рис. 1 и 2.

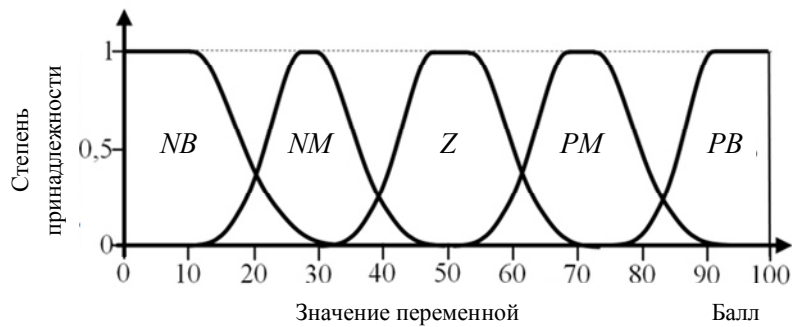


Рис. 1. Нечеткое представление переменных x_{FQ}, x_{SQ}

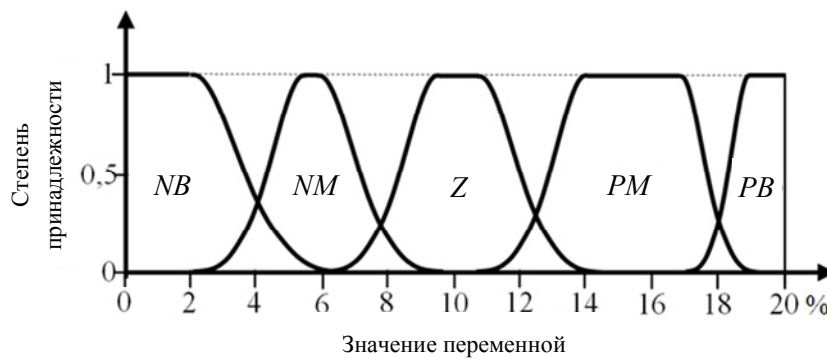


Рис. 2. Нечеткое представление переменной y_{TS}

Для формирования БП было привлечено 10 экспертов, каждому эксперту при помощи средств обмена информации в сети Интернет был направлен опросный лист, фрагмент которого показан в табл. 1.

Таблица 1

Опросный лист эксперта

№ правила	Значение терма переменной x_{FQ}	Значение терма переменной x_{SQ}	Укажите значение терма переменной y_{TS} *
1	<i>NB</i>	<i>NB</i>	
2	<i>NB</i>	<i>NM</i>	
3	<i>NB</i>	<i>Z</i>	
4	<i>NB</i>	<i>PM</i>	
5	<i>NB</i>	<i>PB</i>	
...
25	<i>PB</i>	<i>PB</i>	

* Перечень допустимых термов выходной переменной: *NB, NM, Z, PM, PB*.

Различные варианты заполнения опросных листов экспертами приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты опроса экспертной группы

№ правила	Значение термина переменной x_{FQ}^{fuzz}	Значение термина переменной x_{SQ}^{fuzz}	Значение термина переменной y_{TS}^{fuzz}									
			Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Эксперт 6	Эксперт 7	Эксперт 8	Эксперт 9	Эксперт 10
1	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
2	NB	NM	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
3	NB	Z	NB	NM	NB	NM	NB	NM	NB	NM	NB	NB
4	NB	PM	NB	NM	NB	Z	NM	Z	NB	NM	NB	NB
5	NB	PB	NB	Z	NM	Z	NM	Z	NB	Z	NB	NB
6	NM	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NM
7	NM	NM	NB	NB	NB	NB	NM	NM	NM	NB	NB	NM
8	NM	Z	NB	NM	NB	NM	NM	NM	NM	NM	NB	NM
9	NM	PM	NM	NM	NB	Z	Z	Z	Z	NM	NB	NM
10	NM	PB	NM	Z	NM	Z	Z	Z	Z	Z	NB	NM
11	Z	NB	NM	NM	NB	NB	NB	NM	NB	NM	NB	NM
12	Z	NM	NM	NM	NB	NB	NM	NM	NB	NM	NB	NM
13	Z	Z	Z	Z	NM	NM	NM	Z	NM	Z	NM	Z
14	Z	PM	Z	PM	Z	Z	Z	Z	Z	PM	Z	Z
15	Z	PB	PM	PM	Z	Z	Z	PM	Z	PM	Z	Z
16	PM	NB	NM	NM	NB	NB	NB	Z	NM	NM	NM	Z
17	PM	NM	Z	NM	NB	NB	NB	Z	NM	NM	NM	Z
18	PM	Z	PM	Z	Z	Z	Z	Z	PM	Z	PB	Z
19	PM	PM	PB	PM	Z	PM	PM	PM	PB	PM	PB	PM
20	PM	PB	PB	PB	PM	PM	PM	PM	PB	PB	PB	PM
21	PB	NB	Z	Z	NB	NB	NB	Z	Z	Z	PM	PB
22	PB	NM	Z	Z	NB	NB	NB	Z	Z	Z	PM	PB
23	PB	Z	PM	PM	Z	Z	Z	PM	PM	PM	PB	PB
24	PB	PM	PB	PB	PM	PB	PM	PM	PM	PB	PB	PB
25	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB

С учетом анализа информации в табл. 2 и соотношений (9), (10) в табл. 3 проведено формирование БП, в которой указаны КД правил, предложенных экспертами.

Таблица 3

Результат расчета коэффициента доверия правил

Значение термина переменной x_{FQ}^{fuzz}	Значение термина переменной x_{SQ}^{fuzz}	Наименование термина входной переменной				
		NB	NM	Z	PM	PB
		Значение коэффициента доверия (КД) правила				
NB	NB	1	0	0	0	0
NB	NM	1	0	0	0	0
NB	Z	0,6	0,4	0	0	0
NB	PM	0,5	0,3	0,2	0	0
NB	PB	0,4	0,2	0,4	0	0
NM	NB	0,9	0,1	0	0	0
NM	NM	0,6	0,4	0	0	0
NM	Z	0,3	0,7	0	0	0
NM	PM	0,2	0,4	0,4	0	0
NM	PB	0,1	0,3	0,6	0	0
Z	NB	0,5	0,5	0	0	0
Z	NM	0,4	0,6	0	0	0
Z	Z	0	0,5	0,5	0	0
Z	PM	0	0	0,8	0,2	0
Z	PB	0	0	0,6	0,4	0
PM	NB	0,3	0,5	0,2	0	0
PM	NM	0,3	0,4	0,3	0	0
PM	Z	0	0	0,7	0,3	0,1
PM	PM	0	0	0,1	0,6	0,3
PM	PB	0	0	0	0,5	0,5
PB	NB	0,3	0,5	0,1	0	0
PB	NM	0,3	0	0,5	0,1	0,1
PB	Z	0	0	0,3	0,5	0,2
PB	PM	0	0	0	0,4	0,6
PB	PB	0	0	0	0	1

Для проведения тестового прогона на основании табл. 3 были сформированы две дополнительные БП – по «методу 1», когда в БП из несовместимых правил остаются только правила, имеющие максимальный КД, при этом значение КД не изменяется, и по «методу 2», который от «метода 1» отличается тем, что КД оставленных ПП приравниваются к единице. Базы правил, сформированные по данным методам, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Базы правил с КД, полученными при использовании известных методов

№	Значение термина переменной x_{FQ}^{fuzz}	Значение термина переменной x_{SQ}^{fuzz}	Значение термина выходной переменной	КД правил, полученных по «методу 1»	КД правил, полученных по «методу 2»
1	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	1	1
2	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NB</i>	1	1
3	<i>NB</i>	<i>Z</i>	<i>NB</i>	0,6	1
4	<i>NB</i>	<i>PM</i>	<i>NB</i>	0,5	1
5	<i>NB</i>	<i>PB</i>	<i>NB</i>	0,4	1
6	<i>NM</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	0,9	1
7	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NB</i>	0,6	1
8	<i>NM</i>	<i>Z</i>	<i>NM</i>	0,7	1
9	<i>NM</i>	<i>PM</i>	<i>NM</i>	0,4	1
10	<i>NM</i>	<i>PB</i>	<i>Z</i>	0,6	1
11	<i>Z</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	0,5	1
12	<i>Z</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	0,6	1
13	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>NM</i>	0,5	1
14	<i>Z</i>	<i>PM</i>	<i>Z</i>	0,8	1
15	<i>Z</i>	<i>PB</i>	<i>Z</i>	0,6	1
16	<i>PM</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	0,5	1
17	<i>PM</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	0,4	1
18	<i>PM</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	0,7	1
19	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	0,6	1
20	<i>PM</i>	<i>PB</i>	<i>PM</i>	0,5	1
21	<i>PB</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	0,5	1
22	<i>PB</i>	<i>NM</i>	<i>Z</i>	0,5	1
23	<i>PB</i>	<i>Z</i>	<i>PM</i>	0,5	1
24	<i>PB</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>	0,6	1
25	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	1	1

Из анализа табл. 3 и 4 следует, что при формировании ПП № 5, 9, 11, 13, 17, 20 возникли трудности с выбором определенного правила, т. к. КД других ПП либо были равны, либо незначительно (в пределах 10 %) уступали выбранным ПП. В результате выбирались правила с более низким значением термина выходной переменной, что, с одной стороны, позволяло рассматривать более пессимистичный вариант выходного значения, с другой стороны, не отражало в полной мере мнение экспертной группы. Следует отметить, что в подобном случае задача выбора определенного правила часто решается специалистом по обработке экспертной информации, что в итоге может негативно отразиться на объективности полученного результата. В итоге доля ПП, по которым имеется неопределенность выбора с учетом значения КД, к общему числу ПП составила 24 % (почти четверть). Обобщенные результаты численного эксперимента, показывающие полный перебор возможных значений входных переменных, для определения закономерностей изменения выходной переменной приведены на рис. 3.

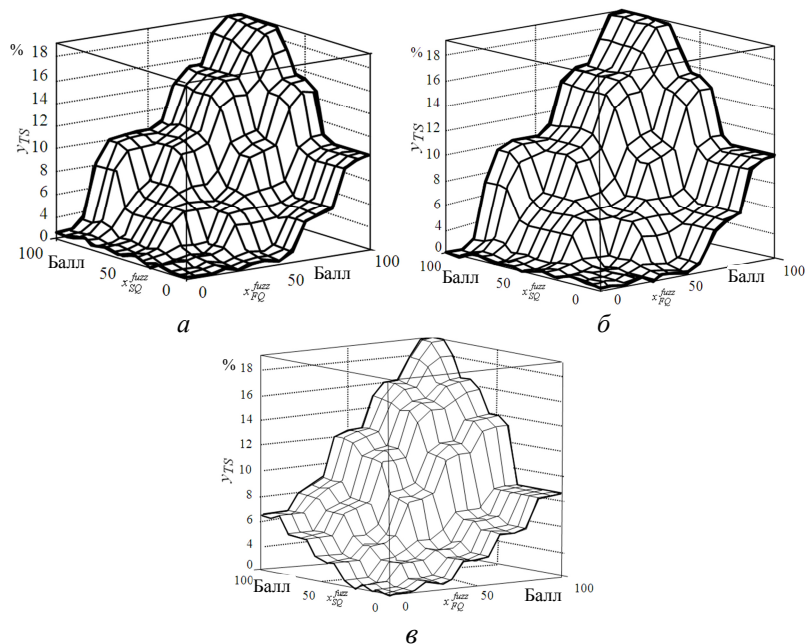


Рис. 3. Выходные зависимости значений выходной переменной от значений входной полученные при использовании СНВ, в основе которых заложены БП, полученные по «методу 1» (а); по «методу 2» (б); на основе предлагаемого метода (в)

Из визуального анализа рис. 3 следует, что поверхность выходных результатов СНВ, в основе которой заложена БП, полученная по предложенному методу, обладает большим количеством разнообразных значений выходной переменной в зависимости от входных значений. При этом сохраняется тенденция к монотонному возрастанию значения выходной переменной пропорционально увеличению значений входных переменных. Для дальнейшего сравнительного анализа эффективности использования предложенного метода были проведены эксперименты, когда на вход СНВ подавались различные пары входных значений и фиксировался результат их взаимодействия. Результаты моделирования, округленные до целых значений, обобщены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты моделирования работы СНВ, в основе которых заложены базы правил, полученные различными методами

Входное значение x_{FQ}	Входное значение x_{SQ}	Выходное значение $y_{TS}^{new.meth}$	Выходное значение y_{TS}^{meth1}	Выходное значение y_{TS}^{meth2}
10	10	2	2	2
30	10	2	2	2
50	10	4	2	2
70	10	6	6	6
90	10	9	10	10
10	30	2	2	2
30	30	4	2	2
50	30	4	6	6
70	30	6	6	6
90	30	9	10	10
10	50	4	2	2
30	50	5	6	6
50	50	8	6	6
70	50	12	10	10
90	50	14	15	15
10	70	5	2	2
30	70	7	6	6
50	70	12	10	10
70	70	15	15	15
90	70	16	18	18
10	90	6	3	2
30	90	8	10	10
50	90	13	10	10
70	90	16	15	15
90	90	19	19	19
Количество разнообразных выходных значений		13	7	6

В качестве критерия эффективности используется показатель количества различных значений выходной переменной в зависимости от значений входных переменных. Из анализа табл. 5 следует, что количество выходных значений в тестируемой СНВ более чем в 2 раза превосходит количество разнообразных значений в эталонном образце – СНВ, БП которой сформирована по «методу 2». Таким образом, в результате проведенного исследования можно прийти к выводу, что СНВ, в основе которой заложена БП, основанная на обобщении контрадикторных экспертных мнений, формирует большее количество разнообразных значений, чем СНВ, основанные на других методах обработки несовместимых правил во время морфогенеза БП.

Областью использования предложенных результатов является развитие методов идентификации состояния сложных объектов социально-экономических и организационно-технических систем, в которых наблюдается неопределенность в области тезауруса терминов определения критических параметров, неполнота и противоречивость экспертных познаний об объекте исследования.

Заключение

В ходе выполнения исследования показаны ограничения методов морфогенеза баз правил для систем нечеткого вывода при наличии контрадикторных мнений в экспертной группе по результатам взаимодействия входных переменных в зависимости от их значения. Для устранения ограничения предложен новый метод морфогенеза базы правил для случая, когда эксперты предлагают несовместимые правила. Метод основан на определении коэффициента доверия правила в зависимости от количества экспертов, которые его предложили, и уровня их квалификации.

Проведенные численные эксперименты показали, что система нечеткого вывода, основанная на использовании базы правил, которая сформирована при помощи предложенного метода, обладает большим разнообразием выходных значений при условии сохранения общей закономерности зависимости выходного значения от значений входных параметров, чем системы нечеткого вывода, использующие существующие методы формирования баз правил при наличии контрадикторных экспертных мнений о результате взаимодействия входных переменных. Подобное позволяет формировать средневзвешенное мнение по состоянию оцениваемого объекта.

Полученные результаты открывают возможности для развития методов оценки состояния элементов сложных социально-экономических и организационно-технических систем, в которых наблюдается неопределенность в области терминологического описания критических параметров и неполнота экспертных знаний по проблемной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTech. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
2. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2017. 800 с.
3. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 288 с.
4. Белоусова М. Н., Даишков А. А. Применение нечеткого моделирования при оценке кризисного состояния предприятий // Вестн. ун-та (Государственный университет управления). 2019. № 3. С. 66–71.
5. Zohaib M., Yaqub A., Jabbar M., Khalid A., Iqbal S., Zeb K., Naqvi A. A. Environment Control System for Livestock Sheds Using Fuzzy Logic Technique // 3rd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE) (Beijing, China, July 8-10, 2016). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2016. P. 963–967.
6. Штовба С. Д., Галушак А. В. Сравнение критериев обучения нечеткого классификатора с голосующими правилами // Науч. тр. Винниц. национ. техн. ун-та. 2015. № 4. С. 47–58.
7. Халов Е. А. Систематический обзор четких одномерных функций принадлежности интеллектуальных систем // Информационные технологии и вычислительные системы. 2009. № 3. С. 60–74.
8. Rogozin O. B., Matveeva E. A. Анализ алгоритмов нечеткого вывода при решении задачи подбора программного обеспечения в сфере образования // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2009. № 12. С. 110–123.
9. Ho S., Yang C., Chen C., Hsu C., Chang Y. An Intelligent-Mamdani Inference Scheme for Healthcare Applications Based on Fuzzy Markup Language // 10th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms, and Networks. 2009. P. 400–404.

Статья поступила в редакцию 05.09.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сорокин Александр Александрович – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры связи; alsorokin.astu@mail.ru.



MORPHOGENESIS OF RULEBASES OF FUZZY INFERENCE SYSTEMS IN TERMS OF CONTRADICTION EXPERT OPINIONS

A. A. Sorokin

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation*

Abstract. The article describes a method of morphogenesis of the rulebase of fuzzy conclusion system in the context of counter-expert opinions. One of the difficulties of the morphogenesis of the rule base, which reflects the result of the collective opinion of the expert group, is processing of counter-narrative conclusions, which are expressed as incompatible rules. The methods used to formulate the rule bases of fuzzy inference systems, in the case of counter-predictive opinions of experts, are based on the removal of incompatible rules, depending on the value of their confidence coefficient. Moreover, the methods for identifying the values of confidence coefficients are not described enough, in addition, the removal of the rules leads to the loss of information about the object that the expert group formed. The proposed method of morphogenesis of rule bases in terms of counter-predictive expert opinions based on the results of the interaction of input variables is based on the identification of the confidence coefficient of each of the rules, depending on the number and level of qualification of the experts who proposed it. To evaluate the effectiveness of the proposed method, a numerical experiment was carried out, based on the study of a typical model for assessing the state of an object, which is used in other examples that demonstrate the principles of the fuzzy inference system. To compare the effectiveness, expert information processing methods containing incompatible rules were used. The performance criterion was the model sensitivity indicator. In the framework of the experiment, sensitivity was understood as the number of various values of the output variable depending on the values of the input parameters. As a result of the experiment, it was shown that the fuzzy inference system using the rule base formed using the proposed method has a noticeably wide variety of input values while maintaining the monotonicity of the change in the values of the output variable. The results of the study allow more advanced methods for identifying the state of elements of socio-economic and organizational-technical systems in which there is terminological uncertainty in the description of critical parameters and the incomplete knowledge of experts on a problem area.

Key words: morphogenesis, rule base, fuzzy inference system, counter-narrative opinions, production rule, incompatible rule, confidence coefficient.

For citation: Sorokin A. A. Morphogenesis of rulebases of fuzzy inference systems in terms of contradictor expert opinions. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2019;4:95-105. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2019-4-95-105.

REFERENCES

1. Leonenkov A. V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTech* [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTech environment]. Saint-Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2005. 736 p.
2. Pegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie* [Fuzzy modeling and control]. Moscow, Binom. Laboratoriiia znaniia Publ., 2017. 800 p.
3. Shtovba S. D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Designing fuzzy systems using MATLAB]. Moscow, Goriachaia liniia-Telekom Publ., 2007. 288 p.
4. Belousova M. N., Dashkov A. A. *Primenenie nechetkogo modelirovaniia pri otsenke krizisnogo sostoiianiia predpriatii* [Application of fuzzy modeling in assessing crisis state of enterprises]. *Vestnik universiteta (Gosudarstvennyi universitet upravleniia)*, 2019, no. 3, pp. 66-71.

5. Zohaib M., Yaqub A., Jabbar M., Khalid A., Iqbal S., Zeb K., Naqvi A. A. Environment Control System for Livestock Sheds Using Fuzzy Logic Technique. *3rd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE) (Beijing, China, July 8-10, 2016). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2016. Pp. 963-967.

6. Shtovba S. D., Galushchak A. V. Sravnenie kriteriev obucheniia nechetkogo klassifikatora s golosuiushchimi pravilami [Comparison of learning criteria for fuzzy classifier with voting rules]. *Nauchnye trudy Vinnitskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 4, pp. 47-58.

7. Khalov E. A. Sistematischeskii obzor chetkikh odnomernykh funktsii prinadlezhnosti intellektual'nykh sistem [Systematic review of crisp univariate membership functions of intelligent systems]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*, 2009, no. 3, pp. 60-74.

8. Rogozin O. V., Matveeva E. A. Analiz algoritmov nechetkogo vyvoda pri reshenii zadachi podbora programmnogo obespecheniia v sfere obrazovaniia [Analysis of fuzzy inference algorithms in solving problem of selecting software in the field of education]. *Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh*, 2009, no. 12, pp. 110-123.

9. Ho S., Yang C., Chen C., Hsu C., Chang Y. An Intelligent-Mamdani Inference Scheme for Healthcare Applications Based on Fuzzy Markup Language. *10th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms, and Networks*, 2009, pp. 400-404.

The article submitted to the editors 05.09.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Sorokin Alexandr Aleksandrovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Communication; alsorokin.astu@mail.ru.

